Journal of Iranian Plant Protection Research

https://jpp.um.ac.ir

Research Article

Vol. 37, No. 3, Fall 2023, p. 289-299

Evaluating Weed Control Efficacy of Microencapsulated EPTC and Trifluralin Herbicides under Greenhouse Condition

A. Rahbari[1], E. Izadi Darbandi[2*], M.H. Rashed Mohassel[3], G. Zohuri[4], E. Zand[5]

Received: 01-06-2019
Revised: 14-02-2021
Accepted: 10-03-2021
Available Online: 10-03-2021

How to cite this article:
Rahbari, A., Izadi Darbandi, E., Rashed Mohassel, M.H., Zohuri, G., & Zand, E. (2023). Evaluating weed control efficacy of microencapsulated EPTC and trifluralin herbicides under greenhouse condition. *Journal of Iranian Plant Protection Research, 37*(3), 289-299. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jpp.2021.32596.0

Introduction

In conventional formulations such as emulsifiable concentrates (EC), wettable powders, soluble liquids, etc., complete availability of the active agent is usually considered immediate or rapid following usage. Application rates of these formulations of pesticides are greater than the minimum threshold concentration to counter losses from sorption, volatilization, photodecomposition, microbial and chemical degradation, and leaching. Controlled-release technology for pesticides could reduce environmental damage and increase efficiency by enhancement of delivery to the site of action. This survey was conducted to determine the possibility of EPTC and trifluralin efficiency improvement by using microencapsulated formulation (MC) that were first synthesized in Iran.

Materials and Methods

Two separated greenhouse experiments were conducted in Tirtash Research and Education Center (Mazandaran–Iran) in 2014. The experiments were carried out in a factorial arrangement based on a randomized complete block design with three replications. The Microencapsulated formulation of EPTC and trifluralin herbicides were compared with emulsifiable concentrate formulation (Eradicane 82% and Treflan 48%) in 0 (control), 25, 50, 75 and 100 percent of active ingredient (a.i.) (4.92 and 1.2 kg a.i./ha, recommended doses for EPTC and trifluralin, respectively). For this purpose, the soil of pots were infested with the seed of Green foxtail (*Setaria viridis*) and Redroot pigweed (*Amaranthus retroflaxus*). The responses of weeds to treatments, specifically seedling number, were analyzed using ANOVA tests, non-linear regression, and fitting to three parameters of Weibull and log-logistic equations. This analysis was based on Akaike's Information Criterion, Residual Standard Error, and Lack-of-Fit Test indices in the R3.4.1 program. The effective dose were determined for 10, 50 and 90 percent of weed control (ED_{10}, ED_{50} and ED_{90}, respectively). Relative potency index (R) of formulation types were determined by divided ED_{50} of EC into MC formulations.

Results and Discussion

According to the results of the experiments, the formulation type had a significant effect on the weed numbers. The MC formulations of EPTC increased Green foxtail and Redroot pigweed control efficiencies. The

1, 2 and 3- Ph.D. Student and Professors of Weed Sciences, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author.Email: e-izadi@um.ac.ir)
4- Professor of Chemistry, Department of Chemistry, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad
5- Professor of Weed Science, Iranian Research Institute of Plant Protection, Tehran, Iran
https://doi.org/10.22067/jpp.2021.32596.0

ED_{10}, ED_{50} and ED_{90} decreased from 0.72, 2.94 and 7.18 kg a.i.ha^{-1} in the EC to 0.41, 1.87 and 4.89 kg a.i.ha^{-1} in the MC formulation for Green foxtail and 1.08, 3.29 and 10.02 kg a.i.ha^{-1} in the EC to 0.57, 2.36 and 9.67 kg a.i.ha^{-1} in the MC formulation for Redroot pigweed. The R index of EPTC in Green foxtail and Redroot pigweed control were 1.57 and 1.39, respectively. Weed control increased as trifluralin dosage increased in both of the formulation types, although in higher doses of the MC, weed control efficiency increased more than the EC formulation. So the efficiency of the MC formulations depended on application dosages. The ED_{10}, ED_{50} and ED_{90} of Green foxtail were 0.14, 0.55 and 1.27 kg a.i.ha^{-1} in the EC and 0.19, 0.52 and 0.98 kg a.i.ha^{-1} in the MC formulation. The ED_{10}, ED_{50} and ED_{90} of Redroot pigweed were 0.20, 0.64 and 2.02 kg a.i.ha^{-1} in the EC and 0.26, 0.56 and 1.19 kg a.i.ha^{-1} in the MC formulation. So that the R index of trifluralin in Green foxtail and Redroot pigweed control were 1.05 and 1.14, respectively. The dependency of trifluralin behavior to applied microcapsule dose may be connected to capture of herbicide in microcapsule particles which it causes reduction of bioavailability of herbicide in soil lower than the threshold doses of injury level. Whiles under this experimental conditions, the herbicides are less affected by degrading agents and therefore have less opportunity to express the advantages of MC formulation. Whereas the field studies results showed that the 50% of the recommended dosage of MC formulation had same efficiency as 75% of the recommended dosage of EC formulations (results were not published).

Conclusion

Microencapsulation is a versatile tool for product design and is successfully used in various sectors and for a variety of different product features. However, although lot of research has been performed, only relatively few developments have made it into products in the agrochemical area. For example 37 actives out of 908 listed in total in the pesticide manual, mainly insecticides, are described as being formulated as control solutions. While the development of this technology in agriculture can play an important role in preserving the environment and reducing the pollution caused by pesticides. The purpose of the application of controlled release formulations is the gradual release of herbicides in a suitable amount with maintaining efficiency in agronomic conditions. This type of formulation is a combination of the herbicide and associated material that releases effective material over a given period due to weed control. The results of this study showed that the R index of EPTC and trifluralin were 1.57 and 1.05 in Green foxtail, and 1.39 and 1.14 in Redroot pigweed control, respectively. So that the microcapsule formulation of EPTC and trifluralin herbicides increased the efficacy and reduced the application dose.

Keywords: Controlled release, Dose-response, Relative potential

نشریه پژوهش‌های حفاظت گیاهان ایران
https://jpp.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۳۷ شماره ۳، پاییز ۱٤۰۲، ص. ۲۹۹-۲۸۹

ارزیابی کارایی فرمولاسیون میکروکپسول سنتزشده علف‌کش‌های ای‌پی‌تی‌سی و تریفلورالین در کنترل علف‌های‌هرز دم‌روباهی و تاج‌خروس در شرایط گلخانه

احمد رهبری[۱]- ابراهیم ایزدی دربندی[۲]*- محمد حسن راشد محصل[۳]- غلامحسین ظهوری[٤]- اسکندر زند[٥]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۱۱
تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۱/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۰

چکیده

به‌منظور بررسی کارایی فرمولاسیون میکروکپسول در مقایسه با فرمولاسیون امولسیون علف‌کش‌های ارادیکان و ترفلان (ای‌پی‌تی‌سی ۸۲ درصد و تریفلورالین ۴۸ درصد) در کنترل علف‌های‌هرز دم‌روباهی‌سبز و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز دو آزمایش مجزا به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۳ در گلخانهٔ تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش تیرتاش استان مازندران اجرا گردید. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از مقادیر صفر (شاهد)، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد مادهٔ موثره توصیه شده در هکتار از فرمولاسیون‌های میکروکپسول و امولسیون علف‌کش‌های ارادیکان و ترفلان (مقادیر توصیه شده ای‌پی‌تی‌سی و تریفلورالین به‌ترتیب ۴/۹۲ و ۱/۲ کیلوگرم در هکتار). پاسخ دم‌روباهی‌سبز و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز با استفاده از آزمون‌های تجزیه واریانس و تجزیه رگرسیون غیرخطی مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر ED_{10}، ED_{50} و ED_{90} با استفاده از روابط ویبول و لگاریتم لجستیک برآورد گردید. ED_{50} در فرمولاسیون امولسیون ای‌پی‌تی‌سی در کنترل دم‌روباهی‌سبز و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز به‌ترتیب ۲/۹۴ و ۳/۲۹ و در فرمولاسیون میکروکپسول به‌ترتیب ۱/۸۷ و ۲/۳۷ کیلوگرم مادهٔ موثره در هکتار تعیین گردید. همچنین این پارامتر در فرمولاسیون امولسیون تریفلورالین در کنترل دم‌روباهی‌سبز و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز به‌ترتیب ۰/۵۵ و ۰/۶۴ کیلوگرم مادهٔ موثره در هکتار و در فرمولاسیون میکروکپسول به‌ترتیب ۰/۵۲ و ۰/۵۶ کیلوگرم مادهٔ موثره در هکتار برآورد شد. شاخص پتانسیل نسبی ای‌پی‌تی‌سی در کنترل دم‌روباهی‌سبز و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز به‌ترتیب ۱/۵۷ و ۱/۳۹ و در علف‌کش تریفلورالین به‌ترتیب ۱/۰۵ و ۱/۱۴ تعیین گردید. بدین لحاظ می‌توان با استفاده از پوشش پلیمری ضمن افزایش کارایی علف‌کش‌ها تا حدود زیادی از مقادیر مصرفی کاست.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل نسبی، دُز پاسخ، رهاسازی‌کنترل‌شده

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری علوم علف‌های‌هرز و استادان گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: e-izadi@um.ac.ir)
۴- استاد گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد
۵- استاد بخش تحقیقات علف‌های هرز، موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور، تهران، ایران

https://doi.org/10.22067/jpp.2021.32596.0

مقدمه

نقش فناوری‌های رهاسازی کنترل شده در راستای بهینه‌سازی رسانش آفت‌کش‌ها برجسته بوده و ابزار منحصر به فردی را برای دستکاری فرمولاسیون آفت‌کش‌ها توسط شرکت‌های تولیدکننده سموم شیمیایی فراهم نموده است. میکروکپسول یکی از این نوع فرمولاسیون‌ها است که مادهٔ موثره در یک لایه ماکرو مولکول محبوس شده است. این فرمولاسیون برای رهاسازی یکنواخت علف‌کش در دوره زمانی طولانی‌تر با آستانه حداقل غلظت مؤثر بر علف‌هرز طراحی شده است. مزایای فرمولاسیون میکروکپسول عبارتند از: رهاسازی کنترل شده مادهٔ مؤثره، کاهش مقدار علف‌کش مصرفی، کارایی بهتر علف‌کش، کاهش روند کند شدن فعالیت مادهٔ مؤثره، کاهش بروز مقاومت، کاهش تلفات علف‌کش، امکان اختلاط آفت‌کش‌ها بخصوص ترکیبات ناسازگار، کاهش گیاهسوزی، کاهش خطرات علف‌کش برای سلامت انسان، شستشوی راحت‌تر سمپاش، کاهش بوی نامطبوع، حذف برخی از حلال‌ها و بهبود حمل و نقل علف‌کش‌ها (Cobb and Reade, 2010; Bernards *et al*., 2006; Ueji and Inao, 2001; Wilkins, 2003; Zand *et al*. and Zhang *et al*., 2016). در حالی که این مزیت‌ها از سال ۱۹۴۸ شناخته شده، ولیکن توسعه و گسترش آن در حوزه کشاورزی کندتر بوده است به‌طوری که اولین فرمولاسیون میکروکپسول در سال ۱۹۷۴ به بازار عرضه شد (Wilkins, 2003) و از آن تاریخ به بعد در صنعت، بهداشت، کشاورزی و دامپزشکی استفاده گردید (Li *et al*., 2016; Matthews, 2000; Meredith *et al*., 2016 and Wilkins, 2003). تنها ۳۷ مورد از ۹۰۸ مورد آفت‌کش با بهره‌گیری از این تکنولوژی تولید شده است (Hack *et al*., 2012). کشش کم بازار برای آفت‌کش‌هایی با این نوع فرمولاسیون می‌تواند بدلیل هزینه‌های بالای تکنولوژی‌های جدید تولید چنین محصولاتی باشد. وضع قوانین توسط سازمان‌هایی همچون سازمان حفاظت محیط‌زیست و افزایش محدودیت در تعداد و مصرف آفت‌کش‌ها و عرضه کمتر ترکیبات مؤثرهٔ جدید به بازار و از سوی دیگر کند و هزینه‌بر بودن ثبت آفت‌کش‌ها موجب شده است تا انتقال مطلوب آفت‌کش‌ها مورد توجه مجدد قرار گیرد و سود فرمولاسیون‌هایی با رهاسازی کنترل شده به هزینه‌های آن رجحان یابد (Wilkins, 2003).

برخی از مصرف‌کنندگان به فقدان دوام و پایداری برخی از علف‌کش‌های خانواده دی‌نیتروآنیلین با فرمولاسیون رایج امولسیون اشاره داشته‌اند (Parochetti and Kennedy and Talbert, 1977; Dec, 1978 and Savage, 1978) در حالی که مطالعات نشان داده است که فرمولاسیون رهاسازی کنترل شده علف‌کش تریفلورالین دارای فعالیت علف‌کشی هم تراز و یا بیشتر از مصرف دو برابر فرمولاسیون امولسیون بوده است. بطور مثال کاربرد فرمولاسیون‌های میکروکپسول تریفلورالین در مقادیر ۱/۱ و ۲/۲ کیلوگرم در هکتار در هفته دوم پس از کاربرد دارای فعالیت مساوی یا بیشتر از فرمولاسیون امولسیون به ترتیب در مقادیر ۲/۲ و ۴/۴ کیلوگرم در هکتار بوده است (Coffman and Gentner, 1980). فرمولاسیون میکروکپسول تریفلورالین موجب کنترل طولانی‌تر علف‌های‌هرز گرامینه یکساله شده و تبخیر کمتری نسبت به فرمولاسیون امولسیون داشته است.

فرمولاسیون میکروکپسول علف‌کش آلاکلر نسبت به فرمولاسیون امولسیون کنترل بهتری بر روی علف‌های‌هرز سوروف[1]، علف‌انگشتی[2] و ارزن در گیاهان زراعی ذرت[3] و سویا[4] نشان داده است (Doub *et al*., 1988). فرمولاسیون میکروکپسول استوکلر می‌تواند به طور ایمن و موثری علف‌های‌هرز پنبه[5] را تحت کنترل قرار دهد به طوری که موجب کنترل علف‌های‌هرز مرغ خوشه سرخ[6] و علف‌انگشتی به ترتیب ۹۱ و ۱۰۰ درصد گردید (Cahoon *et al*., 2015). در بررسی انجام شده توسط وسیلاکوگلو و همکاران (Vasilakoglou *et al*., 2001) از نظر بیولوژیکی کاربرد فرمولاسیون میکروکپسول علف‌کش‌های آلاکلر و استوکلر در مقایسه با فرمولاسیون امولسیون باقیمانده کمتری در محلول خاک و نیز آبشویی کمتری داشت. همچنین فرمولاسیون میکروکپسول علف‌کش کلومازون با هدف کاهش تبخیر و جابجایی به محل غیر هدف در بازار مصرف توسعه یافته است (Monaco *et al*., 2002).

در تحقیق انجام شده توسط داب و همکاران (Doub *et al*., 1988) به نقش رطوبت بر نفوذپذیری یا تخریب دیواره میکروکپسول علف‌کش آلاکلر اشاره شده است. به طوری که کاربرد فرمولاسیون میکروکپسول آلاکلر در خاک خشک کارآیی بیشتری در کنترل علف‌هرز ارزن پاییزه[7] نسبت به کاربرد در خاک مرطوب داشت. همچنین در بررسی انجام شده توسط پترسن و شای (Petersen and Shea, 1989) بر روی میکروکپسول پلی‌آمیدی آلاکلر نشان داده شد که اولین شکل آزادسازی این علف‌کش از طریق انتشار است، نرخ انتشار به شیب غلظت علف‌کش، میزان املاح موجود در میکروکپسول و محلول آبی اطراف بستگی داشت.

علف‌کش‌های ای‌پی‌تی‌سی و تریفلورالین برای اولین بار در ایران طی فرآیندهای تخصصی با قرار دادن پوشش یا ماتریکس حفاظتی پلیمری، به ذرات کروی و یا در مواردی نامنظم با قطر حدوداً ۱۵ تا

1- *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.
2- *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.
3- *Zea mays* L.
4- *Glycine max* L.
5- *Gossypium herbaceum* L.
6- *Eleusine indica* (L.) Gaertn.
7- *Panicum dichotomiflorum* Michx.

۵۰ میکرومتر تبدیل گردیدند. فرمولاسیون میکروکپسول ساخته شده دارای پوشش یا ماتریکس حفاظتی از جنس متیل متااکریلات[1] بوده و با توجه به تصاویر میکروسکوپ الکترونی ذرات میکروکپسول به صورت تک و یا چند هسته‌ای دیده شدند (نتایج منتشر نشده است).

با توجه به موارد اشاره شده این پژوهش با هدف بررسی نقش فرمولاسیون‌هایی با رهاسازی کنترل شده بر کارایی علف‌کش‌های ای‌پی‌تی‌سی و تریفلورالین در کنترل علف‌های‌هرز دم‌روباهی‌سبز و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز در شرایط گلخانه به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی کارایی فرمولاسیون میکروکپسول علف‌کش‌های ای‌پی‌تی‌سی و تریفلورالین (سنتز شده برای اولین بار در ایران)، دو آزمایش مجزا فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. این آزمایش در شرایط گلخانه در گلدان‌هایی به ابعاد ۱۹×۱۵ سانتی‌متر در گلخانهٔ تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش تیرتاش (مازندران- بهشهر) واقع در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۴۴ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۴ متر از سطح دریا در فروردین ماه سال ۱۳۹۳ انجام گرفت. در این بررسی اثرات نوع فرمولاسیون در دو سطح میکروکپسول و امولسیون[2] و مقدار کاربرد علف‌کش در پنج سطح صفر (شاهد)، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد مادهٔ موثره (۰، ۱/۲۳، ۲/۴۶، ۳/۶۹ و ۴/۹۲ کیلوگرم مادهٔ موثره علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی در هکتار و ۰، ۰/۳، ۰/۶، ۰/۹ و ۱/۲ کیلوگرم مادهٔ موثره علف‌کش تریفلورالین در هکتار به‌ترتیب معادل ۰، ۱/۵، ۳، ۴/۵ و ۶ لیتر در هکتار علف‌کش ارادیکان و ۰، ۰/۶۲۵، ۱/۲۵، ۱/۸۷۵ و ۲/۵ لیتر در هکتار علف‌کش ترفلان) بر روی تغییرات تعداد دانهال (درصد بقاء) علف‌های‌هرز غالب مزرعه دم‌روباهی‌سبز[3] و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز[4] مورد بررسی قرار گرفت. خاک از مزرعه تحقیقاتی مرکز (جدول ۱) به گلخانه منتقل و پس از پر نمودن گلدان‌ها، بذور علف‌های‌هرز دم‌روباهی‌سبز و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز از هر یک به مقدار ۰/۱۲ گرم اضافه گردید. پیش از انجام آزمایش ابتدا قوه نامیه بذور علف‌های‌هرز دم‌روباهی‌سبز و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز بررسی گردید و با شیوه سرمادهی اقدام به شکستن خواب بذور تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز گردید.

مقادیر کاربرد علف‌کش‌ها بر اساس سطح گلدان محاسبه شد. محلول علف‌کش بر روی سطح خاک پخش شده و کاملاً با عمق هفت تا ده سانتی‌متری خاک مخلوط گردید. شرایط دمایی گلخانه ۲±۲۵ درجه سانتی‌گراد با طول روز ۱۴ ساعت تنظیم گردید. آبیاری گلدان‌ها به طور یکنواخت از سطح گلدان انجام شد. میزان آبیاری به حدی نبود که آب از انتهای گلدان خارج شود. ۱۸ روز پس از کاربرد علف‌کش، تعداد دانهال و وزن‌تر علف‌های‌هرز ثبت گردید. در این آزمایش به دلیل وزن ناچیز علف‌های‌هرز، تأثیر تیمارها تنها بر تغییرات درصد بقاء آنها مورد بررسی قرار گرفت.

پاسخ علف‌های‌هرز دم‌روباهی‌سبز و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز به تیمارها پس از انجام آزمون نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس توسط نرم‌افزار SAS 9.1 (Institute, SAS, 2002) و تجزیه رگرسیون غیرخطی در محیط نرم‌افزار $R_{3.4.1}$ (Team, 2017) و با استفاده از بسته نرم‌افزاری DRC (Ritz *et al.*, 2015) مورد سنجش قرار گرفت. داده‌ها بر اساس شاخص‌های آماری آکایک[5]، خطای استاندارد باقیمانده[6] و آزمون فقدان برازش[7]، با استفاده از روابط سه پارامتری ویبول[8] (معادله ۱) و لگاریتم لجستیک[9] (معادله ۲) برازش داده شد.

$$y = d^{\left(\frac{1}{b(\log(x)-\log(e))}\right)} \qquad \text{(۱) معادله}$$

$$y = \frac{d}{1+\exp(b(\log(x)-\log(ED_{50})))} \qquad \text{(۲) معادله}$$

در معادلات فوق y، بیانگر درصد بقاء علف‌های‌هرز، d حد مجانب بالا و یا به عبارتی حداکثر درصد بقاء در مقدار صفر علف‌کش، b شیب منحنی در نقطهٔ عطف، e نقطهٔ عطف و ED_{50} مقدار علف‌کش لازم (x) برای کاهش ۵۰ درصدی مقدار بقاء است. همچنین با استفاده از رابطه‌های مذکور مقادیر ED_{10}، ED_{50} و ED_{90} علف‌کش‌ها برآورد گردید.

پتانسیل نسبی علف‌کش (R) با استفاده از معادله (۳) و تقسیم مقادیر علف‌کش لازم از فرمولاسیون امولسیون (EC) و میکروکپسول (MC) برای کاهش ۵۰ درصدی بقاء علف‌هرز تعیین شد. در صورتی که پتانسیل نسبی برابر یک باشد، دو فرمولاسیون دارای کارایی یکسان است و در صورتی که پتانسیل نسبی بزرگتر و یا کوچکتر از یک باشد، فرمولاسیون دوم (مخرج کسر) نسبت به فرمولاسیون اول به‌ترتیب دارای کارایی بیشتر و یا کمتر است (Nielsen *et al*, 2004).

$$R = \frac{ED_{50}(EC)}{ED_{50}(MC)} \qquad \text{(۳) معادله}$$

1- Methyl methacrylate
2- Eradicane (EPTC EC 82%) and Treflan (Trifluralin EC 48%)
3- *Setaria viridis* L.
4- *Amaranthus retroflexus* L.
5- Akaike's information criterion
6- Residual standard error
7- Lack-of-fit test
8- Weibull
9- Log logistic

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 1- The physical and chemical characteristics of the experimental field soil

عمق Depth (cm)	هدایت الکتریکی EC (dS.m^{-1}))	اسیدیته pH	نیتروژن Nitrogen (percent)	فسفر Phosphorus (PPM)	پتاسیم Potassium (mg.kg^{-1})	رس Clay (percent)	سیلت Silt (percent)	شن Sand (percent)
0-30	0.36	7.66	0.09	12.1	242	14	18	68

نتایج و بحث

علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر نوع فرمولاسیون و مقدار کاربرد علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی بر درصد بقاء علف‌های‌هرز دم‌روباهی‌سبز و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نوع فرمولاسیون و مقدار کاربرد علف‌کش تریفلورالین اثر معنی‌داری ($P\leq۰/۰۱$) بر درصد بقاء علف‌هرز دم‌روباهی‌سبز داشت. همچنین اثر متقابل نوع فرمولاسیون و مقدارکاربرد علف‌کش تریفلورالین بر درصد بقاء علف‌هرز تاج خروس در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲).

با توجه به منحنی‌های پاسخ علف‌های‌هرز دم‌روباهی‌سبز و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز به مقدار علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی، صرف نظر از نوع فرمولاسیون با افزایش مقدار کاربرد علف‌کش درصد بقاء به طور معنی‌داری کاهش یافت. همچنین با کاربرد فرمولاسیون میکروکپسول علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی منحنی پاسخ به سمت چپ جابجا شد (شکل ۱). این نتیجه بیانگر آن است که کاربرد فرمولاسیون میکروکپسول موجب افزایش کارایی علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی در کنترل علف‌های‌هرز دم‌روباهی‌سبز و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز گردید به‌نحوی‌که برای کاهش ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصدی تعداد علف‌هرز دم‌روباهی‌سبز به‌ترتیب به ۰/۷۲، ۲/۹۴ و ۷/۱۸ کیلوگرم مادهٔ موثره در هکتار از فرمولاسیون امولسیون علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی نیاز است در حالی که در فرمولاسیون میکروکپسول این مقادیر به‌ترتیب به ۰/۴۱، ۱/۸۷ و ۴/۸۹ کیلوگرم مادهٔ موثره در هکتار کاهش یافت. همچنین برای کاهش ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصدی تعداد علف‌هرز تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز به ترتیب به ۱/۰۸، ۳/۲۹ و ۱۰/۰۲ کیلوگرم مادهٔ موثره در هکتار از فرمولاسیون امولسیون علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی نیاز است در حالی‌که در فرمولاسیون میکروکپسول این مقادیر به‌ترتیب به ۰/۵۷، ۲/۳۶ و ۹/۶۷ کیلوگرم مادهٔ موثره در هکتار کاهش یافت (جدول ۳). بر اساس نتایج شاخص پتانسیل نسبی، کاربرد فرمولاسیون میکروکپسول ای‌پی‌تی‌سی کارایی این علف‌کش را در کنترل علف‌های‌هرز دم‌روباهی‌سبز و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز در مقایسه با فرمولاسیون امولسیون به‌ترتیب ۱/۵۷ و ۱/۳۹ برابر بهبود داد. به بیان ساده‌تر کاربرد یک گرم مادهٔ مؤثره فرمولاسیون میکروکپسول معادل ۱/۵۷ و ۱/۳۹ گرم مادهٔ مؤثره این علف‌کش در فرم امولسیون به‌ترتیب برای کاهش درصد بقاء علف‌های‌هرز دم‌روباهی‌سبز و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز می‌باشد (جدول ۳).

بدین لحاظ به‌نظر می‌رسد فرمولاسیون میکروکپسول موجب رهاسازی تدریجی علف‌کش و افزایش کارایی گردیده است. افزایش و بهبود کارایی فرمولاسیون میکروکپسول علف‌کش‌ها در مطالعات قبل نیز به اثبات رسیده است. محققانی همچون لی و نیکلسون (Lee and Nicholson, 1991) با میکروکپسول نمودن علف‌کش‌های ای‌پی‌تی‌سی و ورنولیت به‌طور معنی‌داری تبخیر مادهٔ مؤثره این سموم را کاهش دادند و توانستند علف‌کش را بدون اختلاط با خاک بکار برده و یا اختلاط را به تأخیر اندازند. همچنین کاربرد فرمولاسیون میکروکپسول استوکلر موجب افزایش دوره زمانی کنترل علف‌های‌هرز گردید (Scher *et al*., 1998). شریبر و همکاران (Schreiber *et al*., 1978) بیان داشتند که فرمولاسیون میکروکپسول علف‌کش‌های ای‌پی‌تی‌سی و بوتیلات در مقایسه با فرمولاسیون امولسیون آهسته‌تر در محیط رها شده و فعالیت علف‌کشی طولانی‌تری را نشان دادند. طی سه سال آزمایش مشخص شد که فرمولاسیون میکروکپسول آلاکلر کارایی بالاتری در کنترل علف‌هرز دم‌روباهی‌کبیر[1] نسبت به فرمولاسیون امولسیون داشت (Doub *et al*., 1988). در گزارش دیگر نیز کاربرد پیش رویشی فرمولاسیون میکروکپسول آلاکلر و ای‌پی‌تی‌سی موجب کنترل مناسب علف‌های‌هرز گرامینه یکساله شده است (Ritter *et al*., 1989).

نتایج پاسخ درصد بقاء علف‌های‌هرز دم‌روباهی‌سبز و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز به کاربرد فرمولاسیون‌های مختلف علف‌کش تریفلورالین در منحنی‌های شکل ۲، بیانگر آن است که با افزایش مقدار کاربرد علف‌کش در هر دو فرمولاسیون درصد بقاء این علف‌های‌هرز به‌طور معنی‌دار کاهش می‌یابد. هر چند که فرمولاسیون میکروکپسول بسته به مقدار کاربرد اثرات متفاوتی بر علف‌های‌هرز داشت به‌طوری‌که در مقادیر کمتر کاربرد این علف‌کش اثر آن کاسته شده و در مقادیر بالاتر به کارایی این علف‌کش افزوده شد. به‌نحوی‌که برای کاهش ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصدی تعداد علف‌هرز دم‌روباهی‌سبز به ترتیب به ۰/۱۴، ۰/۵۵ و ۱/۲۷ کیلوگرم مادهٔ موثره در هکتار از

1- *Setaria faberi* Herrm.

فرمولاسیون امولسیون و ۰/۱۹، ۰/۵۲ و ۰/۹۸ کیلوگرم مادهٔ موثره در هکتار از فرمولاسیون میکروکپسول علف‌کش تریفلورالین نیاز است و برای کاهش ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصدی تعداد علف‌هرز تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز به‌ترتیب به ۰/۲۰، ۰/۶۴ و ۲/۰۲ کیلوگرم مادهٔ موثره در هکتار از فرمولاسیون امولسیون و ۰/۲۶، ۰/۵۶ و ۱/۱۹ کیلوگرم مادهٔ موثره در هکتار از فرمولاسیون میکروکپسول علف‌کش تریفلورالین نیاز است (جدول ۴).

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر فرمولاسیون و مقدار کاربرد علف‌کش‌های ای‌پی‌تی‌سی و تریفلورالین بر درصد بقاء دم‌روباهی‌سبز و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز

Table 2- Analysis of variance the effects of formulation and dose of EPTC and trifluralin herbicides on green foxtail and redroot pigweed survival

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square			
		علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی EPTC herbicide		علف‌کش تریفلورالین Trifluralin herbicide	
		دم‌روباهی‌سبز Green foxtail	تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز Redroot pigweed	دم‌روباهی‌سبز Green foxtail	تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز Redroot pigweed
بلوک Block	2	23.98*	34.97 n.s	0.33 n.s	26.33*
فرمولاسیون (A) Formulation (A)	1	252.95**	302.55**	173.27**	7.56 n.s
مقدار کاربرد علف‌کش (B) Herbicide dose (B)	4	592.23**	928.48**	900.30**	830.47**
A × B	4	5.10 n.s	8.45 n.s	2.61 n.s	19.22*
خطا Error	18	4.41	15.91	9.11	5.16
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation (%)		13	15	19	12

n.s، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

n.s, * and **: non-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- پارامترهای برآورد شده حاصل از تجزیه رگرسیونی غیرخطی داده‌های درصد بقاء علف‌های‌هرز دم‌روباهی‌سبز و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز در پاسخ به نوع فرمولاسیون و مقدار کاربرد علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی به‌ترتیب با استفاده از رابطه‌های ویبول و لجستیک

Table 3- Estimated parameters from nonlinear regression of green foxtail and redroot pigweed survivals with formulation and dose of EPTC herbicide by weibull and logistic equations, respectively

علف‌های‌هرز Weed	فرمولاسیون Formulation	پارامتر Parameter			کیلوگرم ماده موثره در هکتار Kg a.i.ha^{-1}			$R\frac{(EC)}{(MC)}$
		b	d	e	ED10	ED50	ED90	
دم‌روباهی‌سبز Green foxtail	EC	1.34 (0.17)	100.96 (3.75)	3.86 (0.22)	0.72 (0.16)	2.94 (0.19)	7.18 (0.72)	1.57
	MC	1.25 (0.15)	99.90 (3.89)	2.51 (0.16)	0.41 (0.10)	1.87 (0.15)	4.89 (0.42)	
تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز Redroot pigweed	EC	1.97 (0.37)	100.08 (4.85)	-	1.08 (0.27)	3.29 (0.28)	10.02 (2.01)	1.39
	MC	1.56 (0.26)	100.09 (5.03)	-	0.57 (0.17)	2.37 (0.26)	9.67 (2.12)	

d حداکثر درصد بقاء در مقدار صفر علف‌کش، e نقطهٔ عطف، b شیب منحنی در نقطهٔ عطف، EC و MC به ترتیب فرمولاسیون‌های امولسیون و میکروکپسول اعداد داخل پرانتز خطای استاندارد می‌باشد.

d= the maximum of survival at zero herbicide, e= infection point and b= curved slope at infection point, EC = Emulsifiable Concentrate, MC= Microcapsule formulations. Standard errors are in parenthesis.

جدول ٤- پارامترهای برآورد شده حاصل از تجزیه رگرسیونی غیرخطی داده‌های درصد بقاء علف‌های‌هرز دم‌روباهی‌سبز و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز در پاسخ به نوع فرمولاسیون و مقدار کاربرد علف‌کش تریفلورالین به ترتیب با استفاده از رابطه‌های ویبول و لگاریتم لجستیک

Table 4- Estimated parameters from nonlinear regression of green foxtail and redroot pigweed survivals with formulation and dose of trifluralin herbicide by weibull and logistic equations, respectively

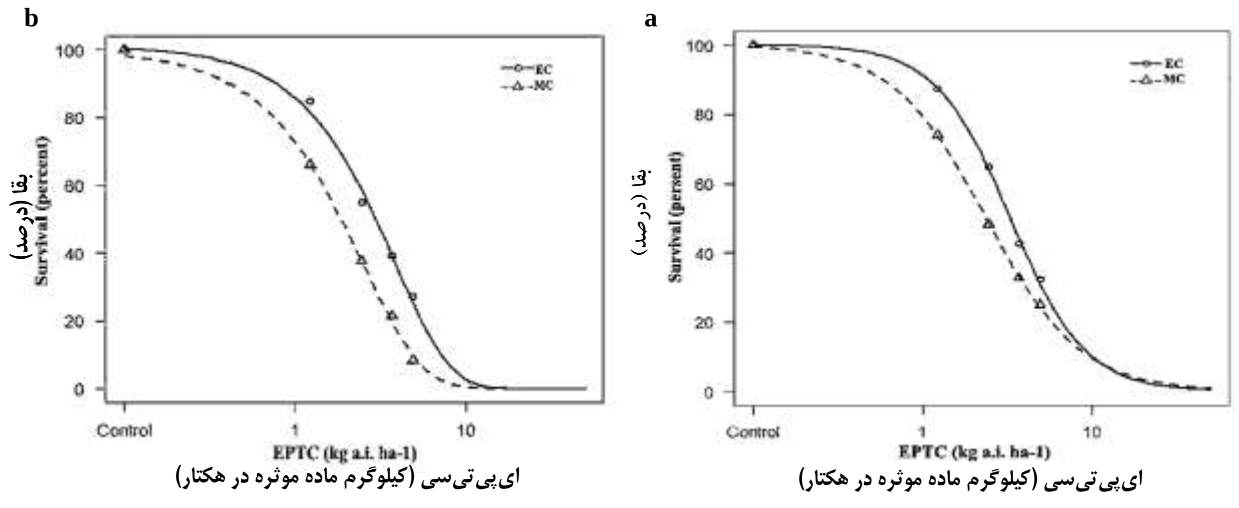
علف‌های‌هرز Weed	فرمولاسیون Formulation	پارامتر Parameter			کیلوگرم ماده موثره در هکتار Kg a.i.ha^{-1}			R $\frac{(EC)}{(MC)}$
		b	d	e	ED_{10}	ED_{50}	ED_{90}	
دم‌روباهی‌سبز Green foxtail	EC	1.44 (0.23)	100.48 (5.30)	0.71 (0.05)	0.14 (0.04)	0.55 (0.05)	1.27 (0.13)	1.05
	MC	1.91 (0.32)	100.35 (5.25)	0.64 (0.04)	0.19 (0.04)	0.52 (0.04)	0.98 (0.08)	
تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز Redroot pigweed	EC	1.92 (0.31)	98.89 (4.73)	-	0.20 (0.05)	0.64 (0.06)	2.02 (0.32)	1.14
	MC	2.89 (0.41)	100.43 (4.43)	-	0.26 (0.04)	0.56 (0.04)	1.19 (0.11)	

d حداکثر درصد بقاء در مقدار صفر علف‌کش، e نقطهٔ عطف، b شیب منحنی در نقطهٔ عطف، EC و MC به ترتیب فرمولاسیون‌های امولسیون و میکروکپسول

اعداد داخل پرانتز خطای استاندارد می‌باشد.

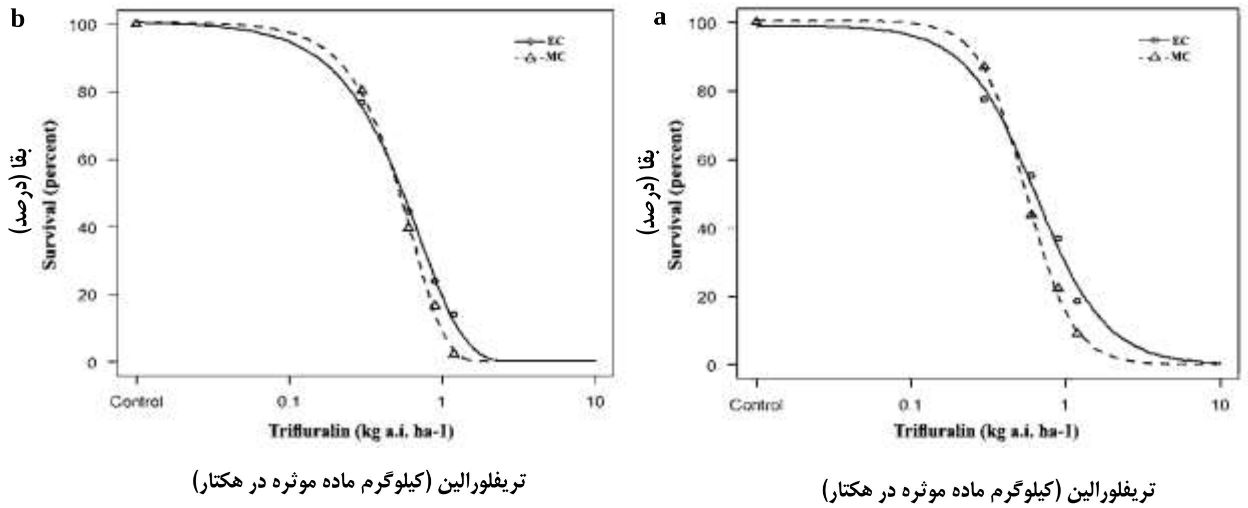
d= the maximum of survival at zero herbicide, e= infection point and b= curved slope at infection point, EC = Emulsifiable Concentrate, MC= Microcapsule formulations. Standard errors are in parenthesis.

بر اساس نتایج شاخص پتانسیل نسبی، کاربرد فرمولاسیون میکروکپسول تریفلورالین کارایی این علف‌کش را در کنترل علف‌های‌هرز دم‌روباهی‌سبز و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز در مقایسه با فرمولاسیون امولسیون به‌ترتیب ۱/۰۵ و ۱/۱۴ برابر بهبود داد. به بیان ساده‌تر کاربرد یک گرم مادهٔ مؤثره فرمولاسیون میکروکپسول معادل ۱/۰۵ و ۱/۱۴ گرم مادهٔ مؤثره این علف‌کش در فرم امولسیون به ترتیب برای کاهش درصد بقاء علف‌های‌هرز دم‌روباهی‌سبز و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز می‌باشد (جدول ۴). کاهش کارایی در مقادیر پایین به‌نظر می‌رسد به دلیل حبس علف‌کش در ذرات میکروکپسول و عدم تأمین آستانه حداقل غلظت برای کنترل علف‌های‌هرز باشد. از سوی دیگر با توجه به کاهش برخی از عوامل مؤثر بر هدر رفت علف‌کش تریفلورالین در شرایط گلخانه همچون تجزیه نوری بدلیل تأمین نور مصنوعی، ممکن است نقش فرمولاسیون میکروکپسول در کاهش تلفات علف‌کش کم رنگ شده باشد. در صورتی‌که در مقادیر بالاتر، بدلیل آزاد سازی تدریجی و تأمین آستانه حداقل غلظت علف‌کش در خاک کارایی این فرمولاسیون بیش از امولسیون بود.



شکل ۱- منحنی‌های پاسخ به نوع فرمولاسیون و مقدار کاربرد علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی مربوط به درصد بقاء علف‌هرز دم‌روباهی‌سبز (a) و علف‌هرز تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز (b)

Figure 1- Dose response curves of green foxtail (a) and redroot pigweed (b) to emulsifiable concentrate (EC) and microcapsule (MC) formulations of EPTC herbicide



شکل ۲- منحنی‌های پاسخ به نوع فرمولاسیون و مقدار کاربرد علف‌کش تریفلورالین مربوط به درصد بقاء علف‌هرز دم‌روباهی‌سبز (a) و علف‌هرز تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز (b)

Figure 2- Dose response curves of green foxtail (a) and redroot pigweed (b) to emulsifiable concentrate (EC) and microcapsule (MC) formulations of trifluralin herbicide

با توجه به مطالب ارایه شده، همانطور که محققانی همچون پترسن و شی (Petersen and Shea, 1989)، کارتر (Carter, 2000)، داریسانک و همکاران (Dhareesank et al., 2006)، ژرسیک و همکاران (Jursik et al., 2015) و فوگلمن و همکاران (Fogleman et al., 2018) در مطالعات خود اشاره نمودند به‌نظر می‌رسد بتوان این روند را به تعامل فرمولاسیون میکروکپسول، نوع علف‌کش و شرایط محیطی تأثیرگذار بر رفتار علف‌کش مرتبط دانست.

مطالعات قبلی نشان داده است که در فرمولاسیون‌های متداول برخلاف فرمولاسیون میکروکپسول، مادهٔ موثره در یک زمان و به طور کامل در محیط قرار گرفته می‌شود (Sopena et al., 2009 and Wilkins, 2003). ویلسون (Wilson, 2003) در بررسی‌های خود نشان داد که فرمولاسیون میکروکپسول موجب افزایش کارایی علف‌کش دایکامبا گردید اما در مقایسه با فرمولاسیون انحلال در آب اثرات علف‌کشی دیرتر ظاهر شد. در فرمولاسیون میکروکپسول افزایش انتشار علف‌کش از غشای پلیمری موجب جبران تلفات ناشی از تجزیه علف‌کش در اثر افزایش دما خواهد شد. در دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۱۵ درصد، نیمه عمر فرمولاسیون امولسیون علف‌کش‌های آلاکلر و استوکلر در حدود ۳۵ روز بود در حالی‌که نیمه عمر فرمولاسیون میکروکپسول علف‌کش‌های آلاکلر و استوکلر به ۵۶ روز افزایش یافت. بعبارتی دما و رطوبت اثرات کمتری بر تجزیه علف‌کش‌هایی با فرمولاسیون میکروکپسول نسبت به فرمولاسیون امولسیون داشتند (Petersen et al., 1988). در سری‌های زمانی ابتدایی آزمایش زیست‌سنجی، فرمولاسیون امولسیون نسبت به فرمولاسیون میکروکپسول علف‌کش تریفلورالین گیاهسوزی بیشتری برروی گیاه چچم[1] مشاهده شد (Coffman and Gentner, 1984).

همان طور که در بالا به‌طور مبسوط ذکر گردید به نظر می‌رسد این روند را بتوان به تعامل فرمولاسیون میکروکپسول، نوع علف‌کش و شرایط محیطی تأثیرگذار بر رفتار علف‌کش مرتبط دانست. در مجموع نتایج نشان داد که کاربرد فرمولاسیون میکروکپسول موجب افزایش کارایی این علف‌کش گردیده است. افزایش و بهبود کارایی فرمولاسیون میکروکپسول در مطالعات قبل نیز در این راستا است. به طور مثال بررسی‌ها نشان داده است که فرمولاسیون رهاسازی کنترل شده علف‌کش تریفلورالین دارای فعالیت علف‌کشی هم تراز و یا بیشتر از مصرف دو برابر فرمولاسیون امولسیون بوده است (Coffman and Gentner, 1984). فرمولاسیون میکروکپسول تریفلورالین موجب کنترل طولانی‌تر علف‌های‌هرز گرامینه یکساله شده و تبخیر کمتری نسبت به فرمولاسیون امولسیون داشته است (Doub et al., 1988). در ادامه این آزمایش، نتایج بررسی‌های مزرعه‌ای نشان داد که از نظر آماری کاربرد ۵۰ درصد دُز توصیه شده فرمولاسیون میکروکپسول علف‌کش تریفلورالین از اثر کنترل‌کننده مشابه کاربرد ۷۵ درصد و افزایش عملکرد هم سطح کاربرد ۱۰۰ درصد فرمولاسیون امولسیون برخوردار بوده است (نتایج منتشر نشده است).

1- *Lolium multiflorum* Lam.

نتیجه‌گیری

هدف از کاربرد فرمولاسیون‌هایی با رهاسازی کنترل‌شده، آزادسازی تدریجی علف‌کش‌ها در مقدار مناسب و با حفظ کارآیی در شرایط زراعی است. این نوع فرمولاسیون‌ها ترکیبی از مادهٔ مؤثرهٔ علف‌کش و مواد همراه است که با توجه به مقدار لازم برای کنترل علف‌های‌هرز، مادهٔ موثرهٔ را در یک دوره زمانی مشخص رهاسازی می‌کنند. نتایج این بررسی گویای آن است که فرمولاسیون میکروکپسول علف‌کش‌های ای‌پی‌تی‌سی و تریفلورالین موجب افزایش کارایی و کاهش مقدار مصرف گردید هر چند که در شرایط اجرای آزمایش، تأثیر فرمولاسیون میکروکپسول بر افزایش کارایی علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی مشهودتر بود. به‌طوری‌که کارایی نسبی فرمولاسیون‌ها در کنترل علف‌های‌هرز دم‌روباهی‌سبز و تاج‌خروس‌ریشه‌قرمز در علف‌کش ای‌پی‌تی‌سی به‌ترتیب ۱/۵۷ و ۱/۳۹ و در علف‌کش تریفلورالین به‌ترتیب ۱/۰۵ و ۱/۱۴ برآورد گردید.

منابع

1. Bernards, M.L., Simmons, J.T., Guza, C.J., Schulz, C.R., Penner, D., & Kells, J.J. (2006). Inbred corn response to acetamide herbicides as affected by safeners and microencapsulation. *Weed Technology*, *20*, 458-465. https://doi.org/10.1614/WT-05-130R.1
2. Cahoon, C.W., York, A.C., Jordan, D.L., Everman, W.J., Seagroves, R.W., Braswell, L.R., & Jennings, K.M. (2015). Weed control in cotton by combinations of microencapsulated acetochlor and various residual herbicides applied preemergence. *Weed Technology*, *29*(4): 740-750**.** https://doi.org/10.1614/WT-D-15-00061.1
3. Carter, A.D. (2000). Herbicide movement in soils: Principles, pathways and processes. *Weed Research*, *40*, 113-122. https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2000.00157.x
4. Cobb, A.H., & Reade, P.H. (2010). *Herbicide and plant physiology*. 2th edn. Wiley-Blackwell, 296Pp. https://doi.org/10.1002/9781444327793
5. Coffman, C.B., & Gentner, W.A. (1980). Persistence of several controlled release formulations of trifluralin in greenhouse and field. *Weed Science*, *28*(1), 21-23. https://doi.org/10.1017/S0043174500027697
6. Coffman, C.B., & Gentner, W.A. (1984). Herbicidal activity of controlled release formulations of trifluralin. *Indian Journal Agricultural Science*, *54*(2), 117-122. http://www.jstor.org/stable/4044606
7. Dhareesank, A.M., Kobayashi, K., & Usui, K. (2006). Residual phytotoxic activity of pethoxamid in soil and its concentration in soil water under different soil moisture conditions. *Weed Biology and Management*, *6*, 50-54. http://dx.doi.org/10.1111/j.1445-6664.2006.00195.x
8. Doub, J.P., Wilson, H.P., & Hatzios, K.K. (1988). Comparative efficacy of two formulations of alachlor and metolachlor. *Weed Science*, *36*, 221-226. https://www.jstor.org/stable/3989325
9. Doub, J.P., Wilson, H.P., Hines, T.E., & Hatzios, K.K. (1988). Consecutive annual applications of alachlor and metolachlor to continuous no-till Corn (*Zea mays*). *Weed Science*, *36*(3), 340-344.
10. Fogleman, M., Norsworthy, J.K., Barber, T., & Gbur, E. (2018). Influence of formulation and rate on rice tolerance to early-season applications of acetochlor. *Weed Technology*, *33*(2), 239-245. https://doi.org/10.1017/wet.2018.98
11. Hack, B., Egger, H., Uhlemann, J., Henriet, M., Wirth, W., Vermeer, A.W.P., & Duff, D.G. (2012). Advanced Agrochemical Formulations through Encapsulation Strategies? *Chemie Ingenieur Technik*, *84*(3), 223-234. https://doi.org/10.1002/cite.201100212
12. Institute, SAS. (2002). *The SAS system for windows*. Release 9.1. SAS Institute Inc., Cary, NC 27513, USA.
13. Jursik, M., Soukup, J., Holec, J., Andr, J., & Hamouzova, K. (2015). Efficacy and selectivity of pre-emergent sunflower herbicides under different soil moisture conditions. *Plant Protection Science*, *51*, 214-222. https://doi.org/10.17221/82/2014-PPS
14. Kennedy, J.M., & Talbert, R.E. (1977). Comparative persistence of dinitroaniline type herbicides on the soil surface. *Weed Science*, *25*, 373-381. https://doi.org/10.1017/S0043174500033695
15. Lee, F.T.H., & Nicholson, P. (1991). International patent WO 96/14743.
16. Li, D., Liu, B., Yang, F., Wang, X., Shen, H., & Wu, D. (2016). Preparation of uniform starch microcapsules by premix membrane emulsion for controlled release of avermectin. *Carbohydrate Polymers*, *136*, 341–349. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.09.050
17. Matthews, G.A. (2000). *Pesticide application methods*. 3th edn. Blackwell Sci. Ltd. 432 Pp. https://doi.org/10.1002/9780470760130
18. Meredith, A.N., Harper, B., & Harper, S.L. (2016). The influence of size on the toxicity of an encapsulated pesticide: a comparison of micron- and nano-sized capsules. *Environment International*, *86*, 68–74. https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.10.012
19. Monaco, T.J., Weller, S.C., & Ashton, F.M. (2002). *Weed science: principles and practices*. 4th edn. Wiley-Blackwell, 688 Pp.
20. Nielsen, O.K., Ritz, C.H., & Streibig, J.C. (2004). Nonlinear mixed model regression to analyze herbicide dose-response relationships. *Weed Technology*, *18*, 30-37. https://doi.org/10.1614/WT-03-070R1

21. Parochetti, J.V., & Dec, G.W. (1978). Photodecomposition of eleven dinitroaniline herbicides. *Weed Science, 26*(2), 153-156. https://www.jstor.org/stable/4042852
22. Petersen, B.B., Shea, P.J., & Wicks, G.A. (1988). Acetanilide activity and dissipation as influenced by formulation and Wheat stubble. *Weed Science*, *36*(2), 243-249. https://doi.org/10.1017/S0043174500074786
23. Petersen, B.B., & Shea, P.J. (1989). Microencapsulated alachlor and its behavior on Wheat (*Triticum aestivum*) straw. *Weed Science*, *37*(5), 719-723. https://www.jstor.org/stable/4045135
24. Ritter, R.L., Kaufman, L.M., Monaco, T.J., Novitzky, W.P., & Moreland, D.E. (1989). Characterization of triazine-resistant Giant foxtail (*Setaria faberi*) and its control in no-tillage Corn (*Zea mays*). *Weed Science, 37*(4), 591-595. https://doi.org/10.3923/ajps.2002.334.336
25. Ritz, C., Baty, F., Streibig, J.C., & Gerhard, D. (2015). Dose-response analysis using R PLOS ONE, 10 (12), e0146021.
26. Savage, K.E. (1978). Persistence of several dinitroaniline herbicides as affected by soil moisture. *Weed Science, 26*, 465-471. https://www.jstor.org/stable/4042903
27. Scher, H.B., Rodson, M., & Lee, K. (1998). Microencapsulation of pesticides by interfacial polymerisation utilizing isocyanate or aminoplast chemistry. *Pesticide Science, 54*, 394-400. https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9063(199812)54:4<394::AID-PS829>3.0.CO;2-S
28. Schreiber, M.M., Shasha, B.S., Ross, M.A., Orwick, P.L., & Edgecomb, D.W. (1978). Efficacy and rate of release of EPTC and butylate from starch encapsulated formulations under greenhouse conditions. *Weed Science*, *26*, 679-686. https://doi.org/10.1017/S0043174500064821
29. Sopeña, F., Maqueda, C., & Morillo, E. (2009). Controlled release formulations of herbicides based on micro-encapsulation. *Ciencia e Investigacion Agraria*, *35*(1), 27-42. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-16202009000100002
30. Team, R.C. (2017). Homepage of R: A language and environment for statistical computing. https://www.R-project.org, Accessed October 1, 2017.
31. Ueji, M., & Inao, K. (2001). Rice paddy field herbicides and their effects on the environment and ecosystems. *Weed Biology Management*, *1*, 71-79. http://dx.doi.org/10.1046/j.1445-6664.2001.00002.x
32. Vasilakoglou, I.B., Eleftherohorinos, I.G., & Dhima, K.B. (2001). Activity, adsorption and mobility of three acetanilide and two new amide herbicides. *Weed Research*, *41*, 535-546. https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2001.00256.x
33. Wilkins, R. (2003). *Controlled release formulations of pesticides*. P. 386-398 In Encyclopedia of agrochemicals. John Wiley & Sons Ltd. https://doi.org/10.1002/047126363X
34. Wilson, M. (2003). *Optimising pesticide use*. first edn. John Wiley & Sons Ltd, 214 Pp. https://doi.org/10.1002/0470871792
35. Zand, E., Baghestani, M.A., Mousavi, S.K., Oveisi, M., Ebrahimi, M., Rastgoo, M., & Labafi Hossienzadeh, M.R. (2008). *Weed management handbook*. Mashhad Jehad-e Daneshghahi Publication, (In Persian), 480. Pp.
36. Zhang, D.X., Li, B.X., Zhang, X.P., Zhang, Z.Q., Wang, W.C., & Liu, F. (2016). Phoxim microcapsules prepared with polyurea and urea−formaldehyde resins differ in photostability and insecticidal activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2841-2846. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b00231